

Л.М. УЛЬЕВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
А.А. КОВАЛЬЧУК, аспирант, НТУ «ХПИ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПИГМЕНТНОЙ ДВУОКИСИ ТИТАНА

У роботі наведені, економічний та енергетичний потенціал енергозбереження, отримані шляхом інтеграції процесів спроектованого підприємства. Завдяки цим двом показникам зрозуміло, що після впровадження проекту, підприємство зможе заощаджувати ~ 8735781 грн. Якщо розглядати заощадження з точки зору енергоносіїв, то витрата гарячих зменшиться на ~ 50%, а холодних ~73%. Що має велике значення у часи збільшення цін на енергоносії

В работе приведены, экономический и энергетический потенциал энергосбережения, полученные путем интеграции процессов спроектированного предприятия. Благодаря этим двум показателям понятно, что после внедрения проекта, предприятие сможет экономить ~ 8735781 грн. Если рассматривать сбережения с точки зрения энергоносителей, то расход горячих уменьшится на ~ 50%, а холодных ~ 73%. Что весьма существенно во времена роста цен на энергоносители

In work is shown, economic and power potential is energy-savings, got by integration of processes of the projected enterprise. Due to these two indexes clearly, that after introduction of project, a that enterprise will be able to save ~ 8735781 Uah. If to examine an economy from point sight of power mediums, then consumption of hot reduced by ~ 50%, or cold ~ 73%. That matters very much in the days of the increase of prices on power mediums

Введение. В связи с тем, что мировые цены на энергоносители постоянно возрастают, проблема энергосбережения является актуальной для промышленности Украины. В Украине, по различным причинам, системные энергосберегающие методы не применялись, поэтому удельное энергопотребление здесь в 3 – 5 раз больше, чем у западных компаний. Одним из методов сокращения энергозатрат является пинч – анализ. С помощью методов интеграции тепловых процессов можно достичь качественного улучшения процесса проектирования, сокращения затрат на энергоносители, уменьшения выбросов вредных веществ в окружающую среду, лучшего использования капитальных вложений, повышение продуктивности после реконструкции. На химических предприятиях сосредоточены все

технологические линии производства продукции, от приема или производства исходных компонентов и до отгрузки расфасованной и упакованной коммерческой продукции. Поэтому для увеличения конкурентоспособности отечественных предприятий, и это особенно важно при вхождении Украины во Всемирную торговую организацию, необходимо срочно снижать удельное энергопотребление в промышленности страны.

Экстракция потоковых данных. Обследуемый процесс включает в себя получение компонентов для производства красок, бумаги, полимерных материалов, резины, химических волокон и т.п. продуктов. Во время проведения энергоаудита предприятие работало в обычном режиме. Рассмотрим, что происходит на каждом участке производства (рис. 1):

1) Гидролиз предназначен для осаждения из раствора титанилсульфата частиц гидратированной двуокиси титана (ГДТ) в форме, обеспечивающей в дальнейшем получение пигментной двуокиси титана. 2) Зародыши рутила добавляются в суспензию ГДТ после 5 стадии фильтрации и способствуют превращению двуокиси титана анатазной формы в рутильную в прокалочных печах при более низких температурах прокаливания. 3) Фильтрация удаляет из ГДТ соли железа, других металлов и серной кислоты. Сульфирование на стадии отбеливания: восстановление 3-х валентного железа до 2-х валентного с целью облегчения его отмывки на последующих стадиях фильтрации. Сульфирование на стадии солевой обработки: получение при прокалке рутильной модификации двуокиси титана. 4) Прокаливание переводит аморфную двуокись титана в кристаллическую рутильной модификации. Очистка отходящих газов производится на установках газоочистки «Баумко». 5) Сухой размол измельчает двуокись титана после прокаливания. 6) Мокрый размол и классификация предназначены для дополнительного измельчения частиц продукта до величины не более 15 микрон. Поверхностная обработка производится с целью ослабления свойства «меления» в лакокрасочном покрытии путём создания на поверхности частиц двуокиси титана защитного слоя из гидроокиси цинка, алюминия и кремния. Фильтрация отмывает двуокись титана от водорастворимых солей. 7) Сушка удаляет всю влагу из двуокиси титана после мокрого размола. Высушенная двуокись титана размельчается в пароструйных мельницах и готовый продукт отгружается на склад [3].

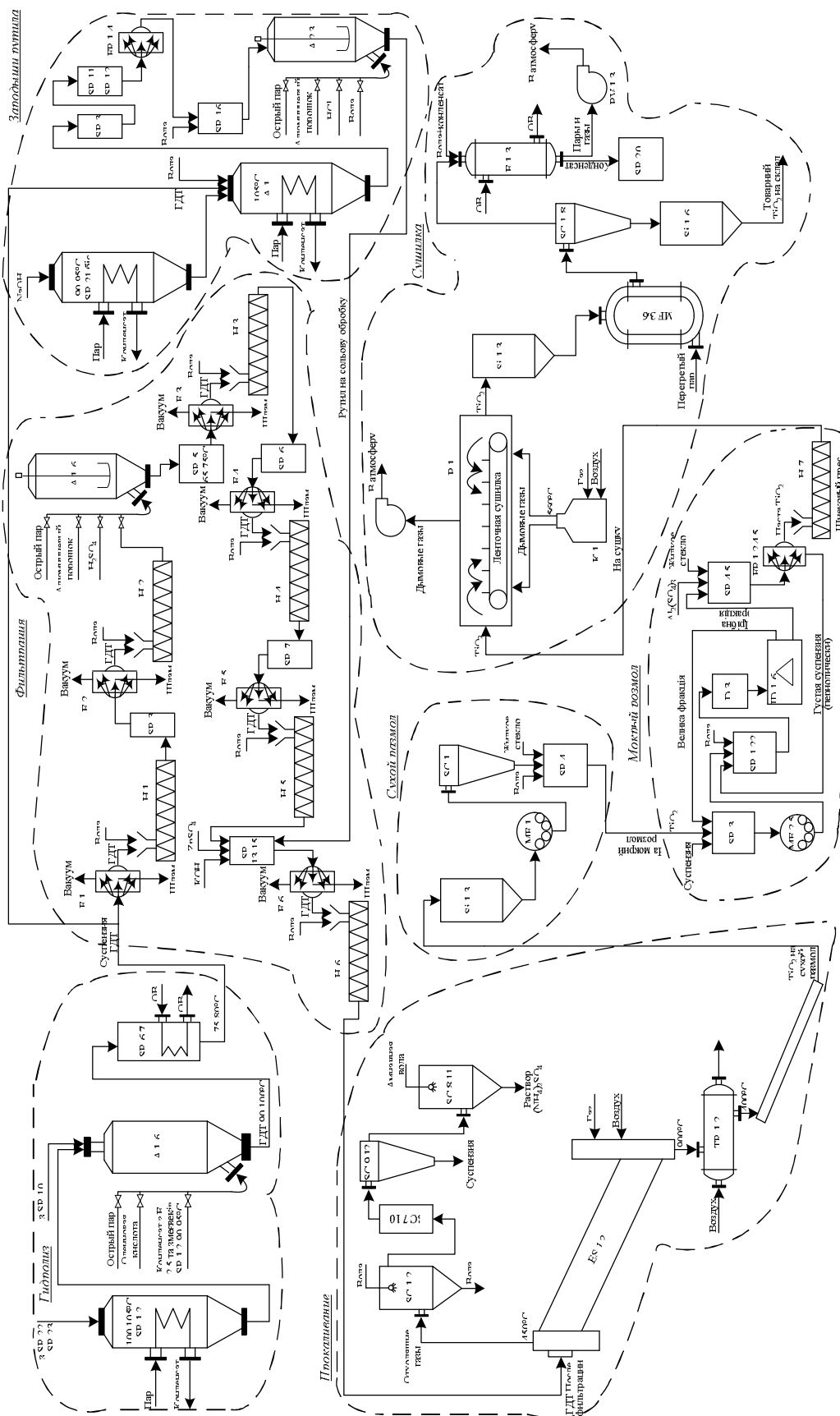


Рис 1 Принципиальная энерготехнологическая схема белого отделения процесса

производства пигментной двуокиси титана

SR 1, 2, 21 бис, А 1 подогреватели; А 1-6, А 2, 3, А 1, 6 реакторы; SR 3 22 ёмкости; FR 1 4 фильтры; Н 1 7 шнековые прессы; F 1 6 вакуум фильтры; ES 1, 2 печи; TR 1, 2 вращающиеся холодильные барабаны; SC 1, 2, 7, 10, 9, 12, 8, 11 циклоны; MF 1, 2, 5 шаровые мельницы; F 1 3 теплообменники; P 1 сушилка; K 1 печь.

Потребление пара и охлаждающей воды технологическими процессами предприятия в табл. 1.

Таблица 1

Энергетическая мощность основных теплоиспользующих и холодоиспользующих объектов предприятия

№	Потребители пара и воды	Количество, кг/с	Количество, кВт
1	Мельница, Гидролиз, Рутил, Отбелка, Анатаз	4,08	7391
2	Охладители	16,88	5033

Итак, мы видим, что основной потребитель тепловой энергии использует 4,08 килограмма пара в секунду, что эквивалентно общей мощности, равной ~ 7391 кВт. Для производства такого количества тепловой энергии необходимо сжечь в топках котлов 6353304 м^3 природного газа.

Стоимость газа для предприятия в настоящее время составляет значение ~ 2500 грн. за 1000 м^3 природного газа, и, следовательно, за потребляемый, указанными объектами в течение года газ, предприятие платит 15883259 грн.

Также предприятие несёт затраты на охлаждение потоков до их целевой температуры, для этого используется охлаждающая вода. Потребление охлаждающей воды составляет 16,88 килограмма воды в секунду, что эквивалентно общей мощности, равной ~ 5033 кВт.

Стоимость охлаждающей воды составляет 10% от стоимости энергии на нагревание, следовательно, предприятие в год тратит 1081592 грн.

Обследование технологических процессов на предприятии позволило определить четырнадцать технологических потоков, которые могут быть включены в теплоэнергетическую интеграцию, свойства которых собраны в табл. 2.

А сейчас перейдем к рассмотрению потоковых данных, экстрагированных из технологических процессов предприятия, и будем их анализировать с помощью методов интеграции процессов.

Заметим, что во время обследования теплоэнергетической системы технологических процессов нагрев потоков осуществлялся только за счёт пара, а охлаждение соответственно за счёт охлаждающей воды. Сокра-

тить расход пара и воды можно, но для этого сначала необходимо провести проектирование теплообменных сетей и процессов на предприятии.

Таблица 2

Потоковые данные технологических потоков, использующиеся для определения энергосберегающего потенциала

№ потока	Название потока	Тип	T _s , °C	T _t , °C	G, т/ч	ΔH, кВт
1	Суспензии на пептизации	гор	102	70	2,50	89
2	Отходящие газы прокали	гор	450	120	22,98	2666
3	TiO ₂ после прокали	гор	900	50	2,53	516
4	Отходящие газы сушки	гор	200	120	8,68	262
5	Пары пароструйных мельниц	гор	112	112	3,00	1853,3
	Конденсат пароструйных мельниц	гор	112	78	3,00	119
6	Нагрев NaOH	хол	20	95	0,04	3,75
7	Нагрев ГДТ в А-1 (рутил)	хол	20	78	0,55	36
8	Нагрев ГДТ + NaOH в А-1 (рутил)	хол	78	105	0,60	18
9	Нагрев ГДТ в пептизаторах	хол	20	102	0,60	54
10	Отбелка	хол	30	90	13,75	644
11	Прокалка TiO ₂ (нагрев пасты)	хол	30	100	6,78	370
12	Воздух на прокалку	хол	30	1100	17,44	5548
13	Сушка TiO ₂ (нагрев пасты)	хол	30	100	5,03	275
14	Воздух на сушку	хол	30	560	5,82	917

Задачей проектирования является организация теплообмена горячих (которые необходимо охладить) и холодных (которые необходимо нагреть) потоков между собой, а также с внешними энергоносителями с целью минимизации приведенных годовых затрат предприятия, кроме того выбранный проект должен быть безопасным, управляемым и удовлетворять экологическим требованиям [2]. Также рассчитываются: оптимальные параметры процесса, капитальные вложения, срок окупаемости и ежегодная прибыль. На основании полученных результатов делается вывод, целесообразна ли реконструкция предприятия. Ведь если затраты

окажутся большими, ежегодная прибыль маленькой и срок окупаемости больше 15 лет, то никто не захочет вкладывать деньги в такой проект. Для начала определим, какое количество тепла можно забрать у горячих потоков и подвести к холодному потоку для его нагрева, иначе говоря, определим энергосберегающий потенциал.

Определение энергосберегающего потенциала. Используя технологические данные из таблицы 2, построим на энтальпийно-температурной диаграмме горячую и холодную составные кривые выбранной системы технологических потоков без рекуперации процесса см. рис. 2.

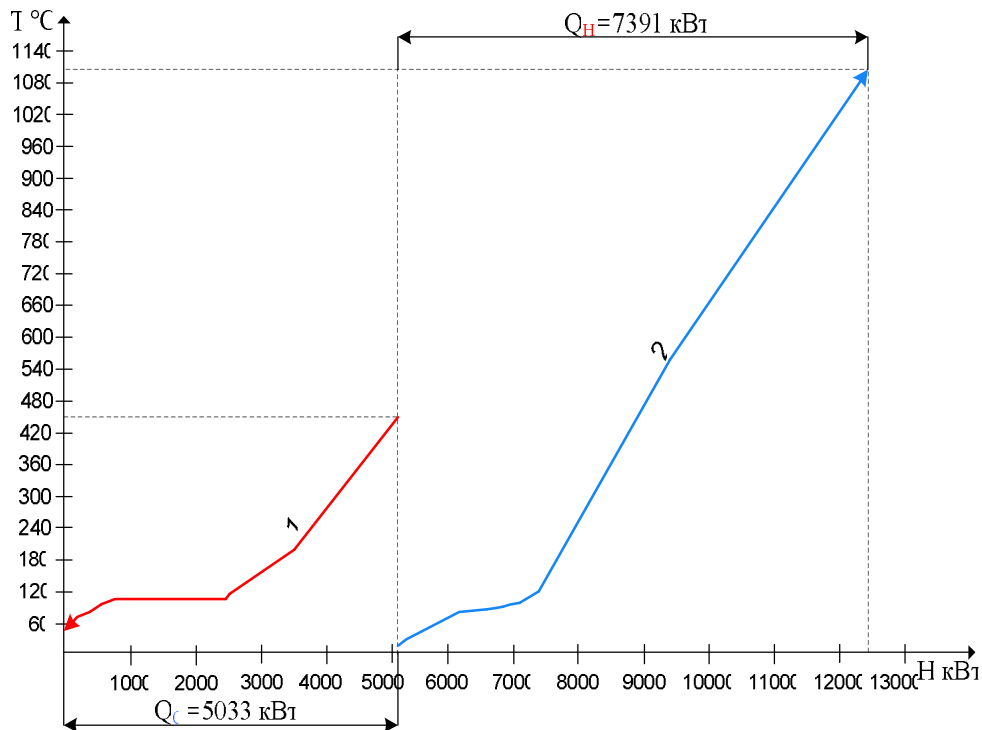


Рис. 2. Составные кривые процесса производства пигментной двуокиси титана без рекуперации процесса: 1 – составная кривая горячих потоков; 2 – составная кривая холодных потоков; Q_H и Q_C потребление мощности горячих и холодных утилит.

На рис.2 видно, для того чтобы нагреть исходный поток до целевой температуры нужно подвести к потоку тепловую энергию, равную ~ 7391 кВт и соответственно для охлаждения горячих потоков отвести тепловую энергию, равную ~ 5033 кВт. Для этого предприятие каждый год тратит ~ 16964851 грн., из них ~ 15883259 грн. на горячие утилиты и \sim

1081592 грн. на холодные утилиты. Так как энергоносители с каждым годом дорожают и их количество на земле уменьшается, то появилась необходимость сокращать потребление энергоносителей. Достичь этого удалось благодаря пинч-интеграции. Составные кривые показывают значения тепловой мощности, которую возможно отвести от системы горячих потоков ~ 5033 кВт и мощности, которую необходимо подвести к холодным потокам ~ 7391 кВт для выполнения процессов рекуперации.

Для этого сдвигают составные кривые. Сдвигать составные кривые необходимо так, чтобы минимальная разность температур равнялась ΔT_{\min} . Только при этой температуре достигается оптимальный компромисс между инвестициями и стоимостью энергии. По подобранному $\Delta T_{\min} = 20$ °C строим сдвинутые составные кривые см. рис. 3.

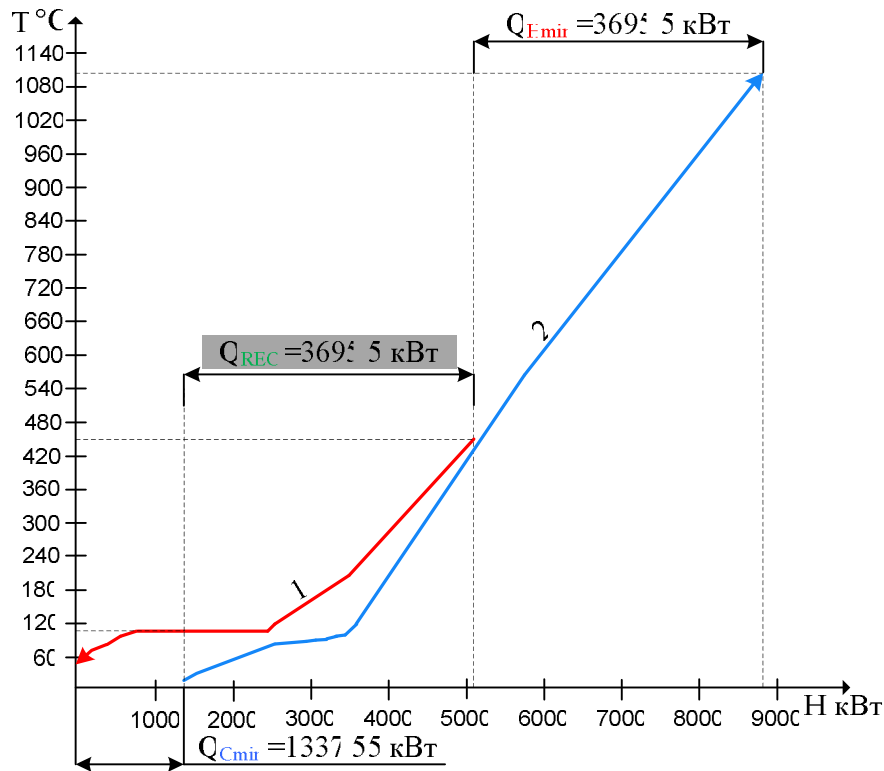


Рис. 3. Сдвинутые составные кривые процесса производства пигментной двуокиси титана с рекуперацией процесса: 1 – составная кривая горячих потоков; 2 – составная кривая холодных потоков; $Q_{H\min}$, $Q_{C\min}$, Q_{Rec} потребление мощности горячих, холодных утилит и мощность рекуперации;

Сдвинув холодный поток к горячему, и обеспечив разность температур в 20 °C (рис. 3) видим, что тепловой энергии рекуперировается \sim

3695,5 кВт [4]. Правда не всю энергию удаётся рекуперировать, поэтому невозможно вообще отказаться от горячих и холодных утилит, можно лишь снизить объём их расхода. Так расход горячих утилит сократился с ~ 7391 кВт, до $\sim 3695,5$ кВт, а холодных с ~ 5033 кВт, до $\sim 1337,55$ кВт. Это существенное снижение затрат на пар и охлаждающую воду. Представим экономическое обоснование внедрения проекта.

Затраты предприятия на нагрев и охлаждение до внедрения проекта (без рекуперации процесса).

Сделаем расчёт стоимости подведенного тепла, на нагрев холодных потоков. Определим стоимость 1 кВт/год энергии, которая получается при сжигании природного газа – количество энергии которая выделяется при сжигании 1000 м^3 природного газа $-33,5 \cdot 10^9$ Дж

Рассчитываем стоимость 1 кВт/год энергии см. в уравнении (1):

$$x = 2500 \cdot 3600 \cdot 8000 \cdot 10^3 / 33,5 \cdot 10^9 \quad (1)$$

где x – искомая стоимость 1 кВт/год; 8000 час. – количество рабочих часов в год; 2500 грн. – цена за 1000 м^3 газа; 3600 сек – количество секунд в 1 часе, откуда $x = 2149$ грн.

Т.е. 1 кВт/год будет стоить 2149 грн. Стоимость годовой энергии, которая пойдёт на подогрев холодного потока см. в уравнении (2):

$$S_{Г1} = Q_H \cdot x, \quad (2)$$

где Q_H – тепловая мощность для нагрева холодного потока; $S_{Г1}$ – стоимость годовой энергии для нагрева холодного потока.

$$S_{Г1} = 7391 \cdot 2149 = 15883259 \text{ грн.}$$

Принято считать, что стоимость энергии для охлаждения стоит 10 % от стоимости энергии на нагрев см. в уравнении (3):

$$S_{Х1} = Q_C \cdot x \cdot 0,1, \quad (3)$$

где Q_C – тепловая мощность для охлаждения горячих потоков; $S_{Х1}$ – стоимость годовой энергии для охлаждения горячих потоков.

$$S_{X1} = 5033 \cdot 2149 \cdot 0,1 = 1081592 \text{ грн.}$$

Общие годовые затраты на энергоносители см. в уравнении (4):

$$S_{\Delta 1} = S_{Г1} + S_{X1}, \quad (4)$$

где $S_{\Delta 1}$ – общие годовые затраты на энергоносители до внедрения проекта.

$$S_{\Delta 1} = 15883259 + 1081592 = 16964851 \text{ грн.}$$

После разработки и внедрения пинч технологий, были получены новые значения горячих и холодных утилит, $\sim 29,258$ кВт и $\sim 33,8$ кВт.

Сделаем перерасчёт стоимости энергии см. в уравнении (2) и (3):

$$\begin{aligned} S_{Г2} &= 3695,5 \cdot 2149 = 7941630 \text{ грн,} \\ S_{X2} &= 1337,55 \cdot 2149 \cdot 0,1 = 287440 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Общие годовые затраты на энергоносители см. в уравнении (4):

$$S_{\Delta 2} = 7941630 + 287440 = 8229070 \text{ грн.}$$

Рассчитаем сумму экономии за год см. в уравнении (5):

$$\begin{aligned} \Delta S &= S_{\Delta 1} - S_{\Delta 2}, \\ \Delta S &= 16964851 - 8229070 = 8735781 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (5)$$

Принимая во внимание указанную выше стоимость горячих и холодных утилит, непосредственное проведение процесса производства пигментной двуокиси титана, в случае внедрения, обойдётся предприятию в 8229070 грн., вместо 16964851 грн до реконструкции. Стоимость горячих утилит для проведения процесса уменьшится на $\sim 50\%$, а холодных на $\sim 73\%$. Совершенно понятно, что за все необходимо платить, и платой в нашем случае будет установка дополнительной теплообменной поверхности, т.е. капитальные затраты. Составные кривые содержат достаточно информации для определения этих затрат еще до разработки самого проекта реконструкции теплоэнергетической системы.

Нам известны начальные и конечные температуры технологических потоков, их тепловые нагрузки и, как правило, известны характерные ко-

эффективности теплоотдачи для каждого из потоков в теплообменном оборудовании. Применяя аппарат составных кривых, мы можем достаточно точно оценить необходимую площадь поверхности теплообмена для проектируемого или реконструируемого процесса. В пинч-анализе также существуют методы определения минимального количества теплообменных аппаратов и их секций [1]. После определения количества теплообменных секций и их поверхности можно оценить стоимость их установки, а значит и общие капитальные затраты [1]. Стоимость теплообменного оборудования выбираем в соответствии с ценами поставщиков.

Значению ΔT_{\min} можно сопоставить в соответствии приведенную капитальную стоимость и годовую стоимость энергии. При увеличении ΔT_{\min} уменьшается мощность рекуперации, увеличиваются среднелогарифмические разности температур, что ведет к уменьшению площади поверхности теплообмена и в итоге к уменьшению капитальной приведенной стоимости. В то же время стоимость потребленной энергии будет расти с увеличением ΔT_{\min} . Общая приведенная стоимость проекта теплообменной системы процесса формируется этими двумя конкурирующими величинами и в результате является немонотонной функцией ΔT_{\min} , и $\Delta T_{\min \text{ opt}}$ определяется при минимальном значении приведенной стоимости проекта [2].

Заключение. Экономический потенциал энергосбережения, полученный вследствие интеграции процессов проектируемого предприятия, равен ~ 8735781 грн. Если рассматривать экономию с точки зрения энергии, т.е. горячих и холодных утилит, то расход горячих сократился на ~ 50%, а холодных на ~ 73%. Что немаловажно во времена увеличения цен на энергоносители.

Список литературы: 1. Основы интеграции тепловых процессов / [Смит Р., Товажнянский Л., Клемеш Й. и др.]. – Х.: ХГПУ. 2000. – 457 с. 2. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем / [Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А.]. – Х.: НТУ «ХПИ», 2006. – 412 с. 3. Двуокись титана / [Хазин Л.Г.]. – Л.: Химия, 1970. – 176 с. 4. Построение составных кривых технологических процессов для определения энергетической эффективности предприятий : сб. науч. работ по материалам межд. научно-техн. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье», microCAD'96. Ч. 1. / [Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. и др.]. – Х.: Вестник – 1996. – 179 с.

Поступила в редколлегию 22.02.12